

К 431

1-89-63

УДК 539.126.4

КИРИЛЛОВ

Дмитрий Александрович

СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЧАРОВАННЫХ ЧАСТИЦ  
И УЗКИХ РЕЗОНАНСОВ  
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ А-ЗАВИСИМОСТИ СЕЧЕНИЯ  
РОЖДЕНИЯ  $\lambda_c^+$ -БАРИОНОВ

Специальность: 01.04.01 – экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Лихачёв  
Михаил Фёдорович

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Гуськов  
Борис Николаевич

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Мухин  
Сергей Васильевич

доктор физико-математических наук,  
профессор

Флитин  
Владимир Борисович

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Институт физики высоких энергий, Протвино.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1989 года  
в "\_\_\_" часов на заседании специализированного совета Д-047.01.02  
при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных  
исследований, г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1989 г.

Учёный секретарь  
специализированного совета *М.Ф. Лихачёв* М.Ф. Лихачёв

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

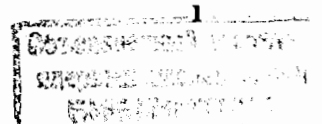
Данная работа основана на результатах исследований и материалах разработок, выполненных автором в 1975-1988 гг. в ЛВЭ ОИЯИ. Она посвящена созданию усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ, а именно: разработке и созданию системы сбора данных, разработке и созданию системы отбора событий, созданию и использованию математического обеспечения цикла экспериментов по поиску и изучению очарованных частиц и узких резонансов на канале нейтральных частиц серпуховского ускорителя и исследованию зависимости сечения рождения очарованного  $\Lambda_c^+$ -бариона от атомного веса ядра мишени.

Актуальность работы. Исследование очарованных частиц и узких резонансов в адрон-ядерных взаимодействиях является актуальной задачей в физике элементарных частиц. Решение этой задачи требует накопления и анализа большого количества экспериментальных данных.

Цель работы - обеспечить получение и анализ больших объемов экспериментальных данных в цикле экспериментов БИС-2. Для достижения этой цели был создан усовершенствованный многочастичный спектрометр БИС-2 ОИЯИ. С его помощью было накоплено большое количество экспериментального материала, на основе которого были получены новые данные по очарованным частицам и узким резонансам, в частности, по А-зависимости сечения рождения очарованного  $\Lambda_c^+$ -бариона.

Научная новизна данной диссертационной работы состоит в определении А-зависимости сечения адронного рождения  $\Lambda_c^+$ -бариона, разработке и применении систем сбора данных, систем отбора событий и систем геометрической реконструкции событий спектрометра БИС-2, имеющих следующие характерные особенности:

- распределение задач сбора, накопления, контроля экспериментальных данных между несколькими ЭВМ;
- использование базовой ЭВМ несколькими независимыми экспериментами;
- передача экспериментальных данных в базовую ЭВМ под управлением малой ЭВМ без предварительной буферизации их в оперативной памяти малой ЭВМ;
- использование многоуровневой системы отбора событий.



Автор защищает:

1. Разработку, создание и применение в усовершенствованном многочастичном спектрометре БИС-2 ОИЯИ системы сбора данных.

2. Разработку, создание и применение в усовершенствованном многочастичном спектрометре БИС-2 ОИЯИ многоуровневой системы отбора событий.

3. Разработку, создание и применение в усовершенствованном многочастичном спектрометре БИС-2 ОИЯИ программы геометрической реконструкции событий.

4. Определение зависимости сечения адронного рождения очарованного  $\Lambda_c^+$ -бариона от атомного номера ядра мишени.

5. Разработку, создание и применение в цикле экспериментов БИС-2 пакета программ для настройки, тестирования и мониторинга элементов спектрометра.

Практическая ценность работы состоит в том, что с помощью созданного на основе перечисленных выше разработок усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ была записана на магнитные ленты информация о более чем 50 миллионах многочастичных взаимодействий нейтронов с ядрами водорода, углерода, алюминия, меди. На основании обработки и анализа части экспериментальной информации сотрудничеством БИС-2 уже получены новые экспериментальные данные о процессах рождения и распада очарованных барионов и узких резонансов.

Основные результаты диссертации докладывались на Международных конференциях по физике высоких энергий (Лейпциг (1984), Беркли (1986)), на Всесоюзном совещании по автоматизации научных исследований (Протвино, 1986), обсуждались на семинарах Лаборатории высоких энергий и Лаборатории вычислительной техники и автоматизации и опубликованы в научных журналах и сообщениях ОИЯИ.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрен цикл экспериментов по поиску очарованных частиц и узких резонансов, выполненных на канале 4Н серпуховского ускорителя в 1975-1982 гг. Здесь сформулированы требования к аппаратуре спектрометра для проведения исследований методом поиска узких пиков в спектрах эффективных масс многочастичных состояний. Представлены результаты поиска очарованных частиц с помощью спектрометра БИС-2. Сформулированы задачи исследования очарованных частиц и узких

резонансов с помощью усовершенствованного спектрометра БИС-2 ОИЯИ, в частности, задача определения  $\Lambda$ -зависимости сечения адронного рождения очарованного  $\Lambda_c^+$ -бариона. Показаны основные направления совершенствования установки для проведения исследований очарованных частиц и узких резонансов в пучке нейтронов. Эти направления следующие:

- совершенствование "он-лайн" системы спектрометра;
- создание системы идентификации заряженных адронов;
- создание системы отбора событий;
- создание новой программы геометрической реконструкции событий.

Во второй главе описан усовершенствованный многочастичный спектрометр БИС-2 ОИЯИ (рис.1). С помощью этой установки в 1983-1985 гг. был проведен цикл экспериментов по исследованию очарованных частиц и узких резонансов. На магнитные ленты было записано более 50 миллионов многочастичных событий от взаимодействий нейтронов с различными ядрами. В этой главе рассмотрены основные детекторы установки, которые использовались в вышеупомянутых экспериментах; пропорциональные каме-

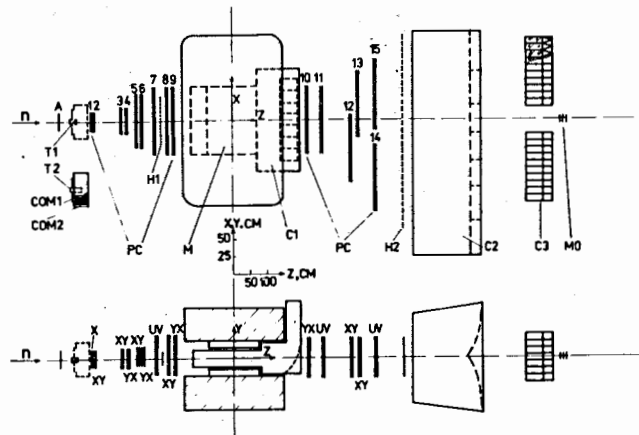


Рис.1 Схема расположения аппаратуры усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ на канале 4Н серпуховского ускорителя. Т - мишень, PC - двухкоординатные пропорциональные камеры (ху и uv), C1 и C2 - многоканальные пороговые газовые черенковские счетчики, C3 - ливневый черенковский спектрометр, М - спектрометрический магнит, MO - нейтронный монитор, А - анти-счетчик.

ры и сцинтилляционные счетчики. Особое внимание уделено описанию системы идентификации заряженных адронов – многоканальным пороговым газовым черенковским счетчикам – и описанию регистрирующей электроники усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ. В конце главы описан канал нейтральных частиц 4Н, на котором действовала установка.

В третьей главе описана система сбора данных усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ. Отмечено, что она создана на основе распределенной вычислительной системы и в ее состав входят: подсистема накопления и обработки на базовой ЭВМ ЕС-1040, управляюще-коммутационная подсистема на малой ЭВМ ТРА-1001 и подсистема для контроля аппаратуры и графического представления результатов на микро-ЭВМ ТЕКТРОНИХ-4051 <sup>/3-5/</sup>. Рассмотрены алгоритмы взаимодействия этих подсистем и алгоритмы считывания экспериментальных данных с регистрирующей электроники установки. Описана структура экспериментальной информации, передаваемой в оперативную память базовой ЭВМ. Отмечено, что данная организация системы сбора экспериментальных данных позволила значительно улучшить контроль за работой установки и ускорить подготовку элементов спектрометра к сеансу. В таблице I приведены основные характеристики системы сбора данных усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ.

Таблица I.

	I-ый вариант системы	Усовершенствованная система
Объем регистрирующей аппаратуры (каналы ПК)	6000	10000
Время считывания одного события (мс)	14	3
Длина одного события (байт)	530	370
Количество событий, принимаемых за цикл ускорителя (шт.)	70	320
Количество событий, записываемых на одну МЛ (шт.)	35000	50000
Длина информации, передаваемой за цикл ускорителя (Кбайт)	37	120

Из таблицы видно, что новая система позволила значительно увеличить скорость набора экспериментальной информации (в 4-5 раз). Созданное для этой системы устройство (ИР40-2) позволило более чем в два раза "сжать" информацию, относящуюся к одному событию, и, как следствие, несмотря на значительное увеличение каналов регистрации, в 1,5 раза увеличить количество экспериментальных событий, записываемых на одну магнитную ленту <sup>/7/</sup>.

В четвертой главе описана система отбора событий усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ. Отмечено, что система отбора событий установки была создана для того, чтобы улучшить качество информации, записываемой на магнитные ленты в ходе набора экспериментальных данных. Ее основная особенность – включение "медленных" устройств на втором уровне отбора. В эксперименте использовались два типа таких устройств: с временем решения около 1 мкс, работающих с ограниченной информацией, и с временем решения около 1 мс, но работающих с максимально возможной информацией <sup>/6,8/</sup>. Описаны алгоритмы работы устройств отбора событий и алгоритмы включения их в систему сбора данных усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ. В таблице 2 представлены характеристики системы сбора данных усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ при включении в систему отбора событий программируемого трекового процессора (количество импульсов "триггер" от системы запуска установки около 1000 штук за цикл ускорителя).

Таблица 2.

	Условия включения процессора			
	$\delta/n$	$n > 0$	$n > 1$	$n > 2$
Количество событий, принимаемых за цикл ускорителя	330	320(330)	280(300)	240(275)
Количество "хороших" событий, принимаемых за цикл ускорителя	150	160(165)	155(165)	145(165)
Процент "хороших" событий	45%	50%	55%	60%
Улучшение отношения сигнал/фон ("хорошие/плохие") при включении процессора	1	1,2	1,5	1,8
Увеличение доли "хороших" событий, записываемых на МЛ, при включении процессора	1	1,1	1,2	1,3

"Хорошими" в данном случае называются события, в которых программа геометрической реконструкции находит больше двух траекторий заряженных частиц, зарегистрированных спектрометром. В скобках приведены характеристики системы сбора данных при включении "идеальных" устройств отбора событий (с временем решения, равным 0 с), работающих по алгоритму процессора.

Из таблицы видно, что включение в работу программируемого трекового процессора позволило несколько увеличить скорость набора "хороших" для эксперимента событий и на 20% увеличить количество "хороших" событий на магнитной ленте.



Здесь показано, что процессор – довольно сложное электронное устройство – можно хорошо описать с помощью его математической модели. Последнее позволяет учитывать результаты работы программируемого трекового процессора при вычислении эффективности регистрации исследуемых событий.

В пятой главе описано программное обеспечение усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ. Отмечено, что его можно разделить на комплекс программ реального времени для работы установки "на линии" с распределенной вычислительной системой /2,4/, на комплекс программ геометрической реконструкции событий /9/, на программы статистического анализа экспериментальных данных и программы моделирования событий. Комплекс программ реального времени в свою очередь можно разделить на "он-лайн" программу "БИЗОН" на базовой ЭВМ, программу, организующую работу системы сбора данных на малой ЭВМ, и пакет программ графического представления результатов обработки и управления тестовыми процедурами на ТЕКТРОНИХ-4051.

В состав комплекса программ геометрической реконструкции входят программы восстановления параметров и вида событий, программы определения "сдвигов" – уточнения взаиморасположения координатных детекторов установки – и средства организации автосопровождения массовой обработки экспериментальных данных. Здесь приведены алгоритмы работы программы геометрической реконструкции событий "БИЗОН" и показаны характеристики различных программ, используемых сотрудничеством БИС-2 для первичной обработки экспериментальной информации. В таблице 3 приведены эффективности реконструкции моделированных событий разными программами (моделировался распад очарованного бариона  $\Lambda_c^+$  на систему  $K^0 p \pi^+ \pi^-$ ).

Таблица 3.

Программа	Эффективность ПК спектрометра (%)					
	100%		95%		90%	
	$K^0$	$K^0$	$K^0$	$K^0$	$K^0$	$K^0$
"БИЗОН"	95%	79%	85%	64%	75%	40%
"ВВУ"	95%	65%	83%	41%	65%	18%
"ПЕРУН"	80%	50%	70%	39%	56%	23%

Из таблицы видно, что применение программы "БИЗОН" позволяет в 1,5–2 раза увеличить эффективность поиска и восстановления многотрековых событий программой геометрической реконструкции в экспериментах БИС-2.

Статистическая обработка и отбор реконструированных событий осуществляются программой ВИСМХС. Эта программа также выполняет анализ информации с системы идентификации заряженных адронов и определяет вероятности каждой зарегистрированной частице быть пионом, каоном, протоном/антипротоном.

Определением эффективности регистрации, геометрической реконструкции и статистической обработки событий занимается программа RSIMUL. Эта же программа использовалась в экспериментах сотрудничества БИС-2 для определения разрешающей способности усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ по различным кинематическим и геометрическим переменным.

В шестой главе описаны результаты исследования зависимости сечения рождения очарованного бариона  $\Lambda_c^+$  от атомного веса ядра мишени /10/. Приведены условия выделения сигнала  $\Lambda_c^+$  на экспериментальном материале, записанном на магнитные ленты с помощью усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ при облучении нейтронами ядер С, А1 и Сu. В таблице 4 приведено количество событий, выделенное при исследовании А-зависимости сечения рождения очарованного  $\Lambda_c^+$ -бариона.

Таблица 4.

Канал распада	Мишень		
	Углерод	Алюминий	Медь
$K^0 p \pi^+ \pi^-$	16,0±5,3	18,5±5,7	17,0±5,5
$\Lambda^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-$	8,0±3,3	7,5±3,2	7,0±2,8

Зависимость сечения рождения очарованного  $\Lambda_c^+$ -бариона в наблюдаемой области  $0,5 < x < 1,0$  и  $p_{\perp} < 1,0$  ГэВ/с параметризовалась формулой:

$$G = G_0 \cdot A^{\alpha}$$

где  $G_0$  – константа,  $\alpha$  – искомый параметр,  $x$  – фейнмановская переменная,  $p_{\perp}$  – поперечный импульс  $\Lambda_c^+$ -бариона. Было получено значение  $\alpha (\Lambda_c^+) = 0,73 \pm 0,20$ .

В заключении приводятся главные результаты экспериментов, выполненных с помощью усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ, и формулируются основные результаты диссертации.

#### Основные результаты и выводы диссертации

В 1983–1985 гг. на усовершенствованном многочастичном спектрометре БИС-2 ОИЯИ был проведен цикл экспериментов по исследованию свойств очарованных барионов и узких барионных резонансов, рождающихся в нейтрон-протонных и нейтрон-ядерных взаимодействиях при средней энергии налетающих нейтронов 40 ГэВ.

Основные отличия усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ от его предыдущих модификаций следующие:

- существенно (в 4-5 раз) повышено быстродействие установки;
- введена в состав установки система идентификации заряженных адронов.

С помощью усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ на магнитные ленты было записано более 50 миллионов многочастичных событий. На этом материале сотрудничеством БИС-2 уже получены следующие новые экспериментальные данные:

- о характеристиках рождения очарованного  $\Lambda_c^+$ -бариона на водороде;
- о зависимости сечения рождения очарованного  $\Lambda_c^+$ -бариона от атомного веса ядра мишени;
- о дифракционной диссоциации нейтронов в систему  $\Lambda^0 K^0$  на водороде;
- подтверждено наблюдение узкого странного резонанса М-бариония с массой  $3060 \text{ МэВ}/c^2$ , распадающегося на барион, антибарион и мезоны, в том числе по четырем ранее неизвестным каналам распада;
- впервые получено указание на существование М-бариония со скрытой странностью с массой  $3250 \text{ МэВ}/c^2$  при анализе восьми различных спектров эффективных масс.

Основные результаты, представленные в данной работе, можно сформулировать следующим образом:

1. Предложен и реализован новый способ организации системы сбора экспериментальных данных многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ. Основная особенность этой системы - чтение информации с регистрирующей электроники установки и передача ее в оперативную память удаленной базовой ЭВМ с помощью малой ЭВМ, расположенной в зоне спектрометра, без промежуточной буферизации экспериментальных данных в оперативной памяти малой ЭВМ.

Разработаны и реализованы структурная схема, алгоритм и временная диаграмма работы системы сбора экспериментальных данных усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ.

Созданы программы на малой ЭВМ ТРА-1001i и графической системе ТЕКТРОНИХ-405I, обеспечивающие функционирование системы сбора экспериментальных данных.

2. Предложен и реализован новый способ построения многоуровневой системы отбора событий многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ. Основная особенность этого способа - включение в систему "медленных" устройств - быстродействующего трекового процессора с временем решения около 1 мкс и программируемого трекового процессора с временем решения около 1 мс.

Разработаны и реализованы алгоритмы включения "медленных" устройств на втором уровне системы отбора событий усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ.

Созданы программы на малой ЭВМ ТРА-1001i и графической системе ТЕКТРОНИХ-405I, обеспечивающие функционирование системы отбора событий.

3. Предложен новый алгоритм геометрической реконструкции событий, записанных на магнитные ленты во время работы многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ. На основании этого алгоритма создана программа, позволяющая увеличить в 1,5-2 раза эффективность восстановления событий, интересных с точки зрения исследуемых физических процессов, и расширить границы возможных исследований вследствие получения информации о треках заряженных частиц, не прошедших анализирующей магнит спектрометра.

По этой программе обработано более 50 процентов всех экспериментальных событий, полученных с помощью усовершенствованного многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ.

4. Впервые получены данные об А-зависимости сечения адронного рождения очарованного бариона  $\Lambda_c^+$ :

а) выделен сигнал  $\Lambda_c^+$ -бариона в спектрах инвариантных масс систем  $\bar{K}^0 p \pi^+ \pi^-$  и  $\Lambda^0 p \pi^+ \pi^-$  при обработке экспериментального материала, полученного при облучении ядер С, Al, Si нейтронами;

б) для параметризации зависимости сечения рождения от атомного веса ядра мишени формулой  $\sigma = \sigma_0 \cdot A^\alpha$  получено значение параметра  $\alpha$  в кинематической области  $0,5 < x < 1,0$  и  $p_1 < 1,0 \text{ ГэВ}/c$

$$\alpha (\Lambda_c^+) = 0,73 \pm 0,20 .$$

Этот результат, полученный из прямого наблюдения рождения  $\Lambda_c^+$ , остается уникальным.

5. Разработан и создан пакет программ на малой ЭВМ ТРА-1001i и графической системе ТЕКТРОНИХ-405I для настройки, мониторинга и тестирования элементов установки. С его помощью проводилась настройка и тестирование всех узлов многочастичного спектрометра БИС-2 ОИЯИ.

6. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при проведении экспериментальных исследований. Они уже легли в основу планируемых экспериментов по изучению процессов рождения и распада очарованных частиц и узких резонансов на канале 5Н серпуховского ускорителя.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах: Г. Айхнер Г., Алеев А.Н., ..., Кириллов Д.А. и др. Организация чтения и контроля информации при работе спектрометра БИС-2 на линии с ЭВМ ЕС-1040. Сообщение ОИЯИ, IO-80-434, Дубна, 1980.

2. Айхнер Г., Алеев А.Н., ..., Кириллов Д.А. и др. Организация контроля и наладки аппаратуры спектрометра БИС-2 с помощью малой ЭВМ. Сообщение ОИЯИ, IO-80-253, Дубна, 1980.
3. Евсиков И.И., Иванченко И.М., ..., Кириллов Д.А. и др. Организация передачи информации в распределенной системе ЭВМ на линии с экспериментальной установкой БИС-2. Сообщение ОИЯИ, IO-83-773, Дубна, 1983.
4. Евсиков И.И., Иванченко З.М., ..., Кириллов Д.А. и др. Математическое обеспечение неоднородной распределенной вычислительной системы для экспериментов в области физики высоких энергий. В кн.: IV Всесоюзный семинар по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях. ИФВЭ, Протвино, 1986, с.74.
5. Алеев А.Н., Арефьев В.А., ..., Кириллов Д.А. и др. Система сбора данных спектрометра БИС-2. Сообщение ОИЯИ, P10-87-272, Дубна, 1987.
6. Арефьев В.А., Гуськов Б.Н., ..., Кириллов Д.А. и др. Программируемые трековые процессоры в спектрометре БИС-2. Сообщение ОИЯИ, I3-86-738, Дубна, 1986.
7. Гуськов Б.Н., Кириллов Д.А., Морозов А.Н. Интерфейсы универсального драйвера ветви с ЭВМ ЕС-1040 для организации системы сбора данных бесфильмового спектрометра БИС-2. Препринт ОИЯИ, I3-85-499, Дубна, 1985; ПТЭ, 1987, I, с.65.
8. Гуськов Б.Н., Иванченко И.М., ..., Кириллов Д.А. и др. Быстродействующий трековый процессор. Сообщение ОИЯИ, I3-87-419, Дубна, 1987.
9. Говорун Н.Н., Григалашвили Т.С., ..., Кириллов Д.А. и др. БИЗОН - комплекс программ реального времени установки БИС-2 на линии с распределенной системой ЭВМ. Депонированное сообщение ОИЯИ, Б1-86-118, Дубна, 1986.
10. Алеев А.Н., Арефьев В.А., ..., Кириллов Д.А. и др. А-зависимость сечения рождения очарованных барионов  $\Lambda_c^+$  в нейтрон-ядерных взаимодействиях. Препринт ОИЯИ, Д1-86-422, Дубна, 1986; ЯФ, т.46, вып.10 (1987), с.1127-1133.

Рукопись поступила в издательский отдел  
I февраля 1989 года.